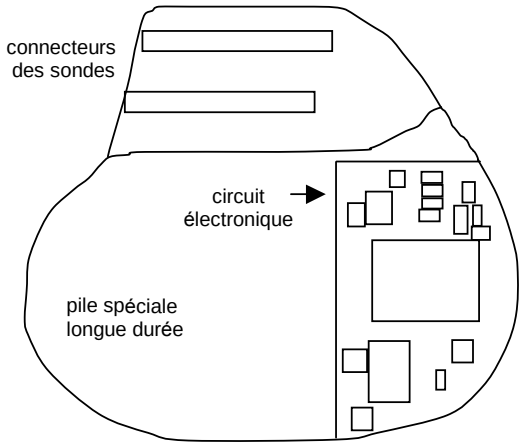
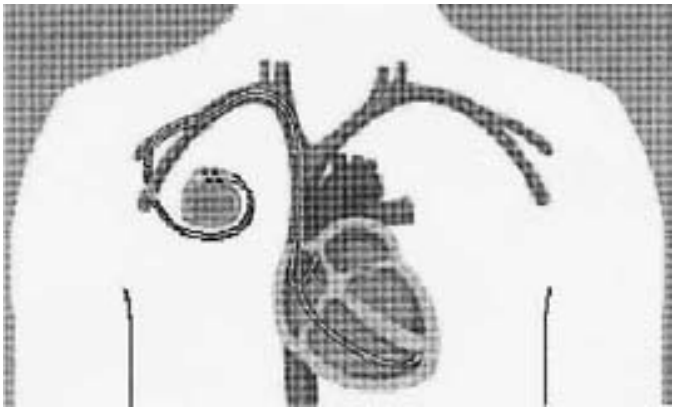
2004 Île de la Réunion Exercice1: Quelques usages des condensateurs (9 points)

I. Génération d'impulsions: le stimulateur cardiaque





Notre cœur se contracte plus de 100 000 fois par jour. Il bat 24 h sur 24 pendant toute notre vie, entre 60 et 80 fois par minute, grâce à un stimulateur naturel: le nœud sinusal.
Lorsque celui-ci ne remplit plus correctement son rôle, la chirurgie permet aujourd'hui d'implanter dans la cage thoracique un stimulateur cardiaque artificiel (appelé aussi pacemaker) qui va forcer le muscle cardiaque à battre régulièrement en lui envoyant de petites impulsions électriques par l'intermédiaire de sondes.

Le boîtier de celui- ci est de petite taille : 5 cm de large et 6 mm d'épaisseur. Sa masse est d'environ 30 g.

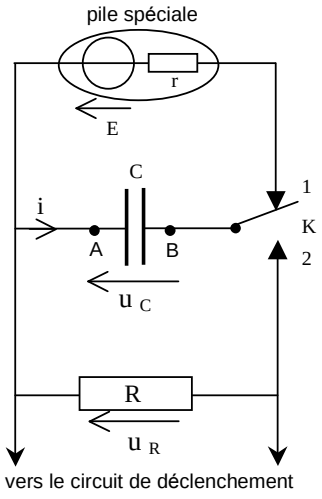


SCHÉMA 1

Ce pacemaker est en fait un générateur d'impulsions ; il peut être modélisé par le circuit électrique en dérivation, ci-contre, qui comprend un condensateur de capacité C = 470 nF , un conducteur ohmique de résistance R, une pile spéciale et un transistor qui joue le rôle d'interrupteur, K.
La pile qui apparaît dans ce dispositif peut être modélisée par l'association en série d'une résistance r (ici très faible voire négligeable) et d'un générateur de tension idéal de force électromotrice E.
Quand l'interrupteur est en position (1) le condensateur se charge de façon quasi-instantanée. Puis, quand l'interrupteur bascule en position (2) , le condensateur se décharge lentement à travers le conducteur ohmique de résistance R, élevée, jusqu'à une valeur limite $u_{limite} = \frac{E}{e}$ avec *ln e* = 1 où *ln* représente le logarithme népérien.
A cet instant, le circuit de déclenchement envoie une impulsion électrique vers les sondes qui la transmettent au cœur : on obtient alors un battement !

Cette dernière opération terminée, l'interrupteur bascule à nouveau en position (1) et le condensateur se charge, etc…

La tension u_C aux bornes du condensateur a alors au cours du temps l'allure indiquée sur la **courbe 1** , *représentée sur l'annexe 1 à remettre avec la copie.*

I.1. Charge du condensateur

I.1.a. Quand l'interrupteur est en position (1), il se charge de façon quasi instantanée. Pourquoi ce phénomène est-il très rapide ?

I.1.b. Pour obtenir l'enregistrement de l'évolution temporelle de la tension u_C, on utilise un ordinateur muni d'une interface d'acquisition de données et d'un logiciel de saisie.

Reproduire le schéma 1 et indiquer où doivent être branchées la masse M de l'interface et la voie Y_A d'acquisition pour étudier les variations de la tension u_C aux bornes du condensateur.

I.1.c. Sur la courbe 1, colorier la (ou les) portion(s) qui correspondent à la tension u_C lors de la charge du condensateur. Justifier votre choix.

I.1.d. On considère que le condensateur est complètement chargé. Quelle est la valeur de l'intensité du courant qui circule alors dans le circuit ?

La force électromotrice E est la valeur de la tension aux bornes de la pile lorsqu'elle ne débite pas de courant.
A partir de l'enregistrement $u_C = f(t)$, donner la valeur de E.

I.2. Décharge du condensateur

I.2.a. En respectant les conventions d'orientations du schéma du circuit :

- préciser le signe de l'intensité i du courant lors de la décharge ;
- écrire la relation entre l'intensité i du courant et la tension u_R ;
- écrire la relation entre la charge q de l'armature A du condensateur et la tension u_C ;
- écrire la relation entre l'intensité i et la charge q;
- écrire la relation entre les tensions u_R et u_C lors de la décharge.

I.2.b. En déduire que lors de la décharge , l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C est de la forme :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C = 0$$

I.2.c. Donner l'expression littérale de la constante de temps τ. Montrer que cette grandeur a la même unité qu'une durée.

I.2.d. Déterminer graphiquement la valeur de τ par la méthode de son choix qui apparaîtra sur la figure de l'annexe à rendre avec la copie.

I.2.e. En déduire la valeur de R.

I.3. Lien entre la décharge du condensateur et les battements du cœur

I.3.a. A l'instant t_1, le circuit de déclenchement génère une impulsion électrique ; le condensateur n'est pas complètement déchargé.
Quelle est l'expression littérale de la tension u_C aux bornes du condensateur, à cet instant ?

Graphiquement la valeur de cette tension est 2,1 V. Est-ce en accord avec la valeur de E obtenue à la question I.1.d ?

I.3.b. Sachant qu'une solution générale de l'équation différentielle précédemment établie est de la forme: $u_C(t) = E.\ e^{-\frac{t}{\tau}}$, montrez que $t_1 = \tau$.

I.3.c. En déduire la durée Δt qui doit séparer deux impulsions électriques consécutives.

I.3.d. Quel est alors le nombre de battements du cœur par minute ?

II. Stockage d'énergie: le flash électronique

L'énergie libérée en un temps très bref par l'éclair d'un flash est au préalable stockée dans un condensateur de grande capacité, chargé par quatre piles en série équivalentes à un générateur de f.e.m. U = 6 V. Elles contiennent une énergie totale E = 18 kJ, lorsqu'elles sont neuves.
On admettra que pour un fonctionnement optimal, la moitié de cette énergie est transférable au condensateur. Au-delà, les piles doivent être changées.

Le mode d'emploi du flash Minolta® 5400HS indique, pour une alimentation par quatre piles alcalines de type AA :	
Autonomie (en nombre d'éclairs)	*Temps de recharge après un éclair en secondes*
***100** à 3500*	*0,2 à **11***
L'autonomie indique le nombre d'éclairs possibles avant de changer de piles. *La durée de l'éclair peut être limitée par un circuit électronique, ce qui explique les fourchettes de données.* *Les indications en gras correspondent à des éclairs d'intensité lumineuse et de durée maximales, résultant de la décharge complète du condensateur.*	

II.1. En utilisant les données du mode d'emploi, calculer la valeur de l'énergie libérée par un éclair d'intensité lumineuse et de durée maximales.

II.2. En déduire la capacité C du condensateur qui a été chargé sous la tension constante U = 6 V.

II.3. En utilisant les données du mode d'emploi, donner un ordre de grandeur de la constante de temps du circuit de charge.

II.4. En déduire l'ordre de grandeur de la résistance à travers laquelle s'est chargé le condensateur.

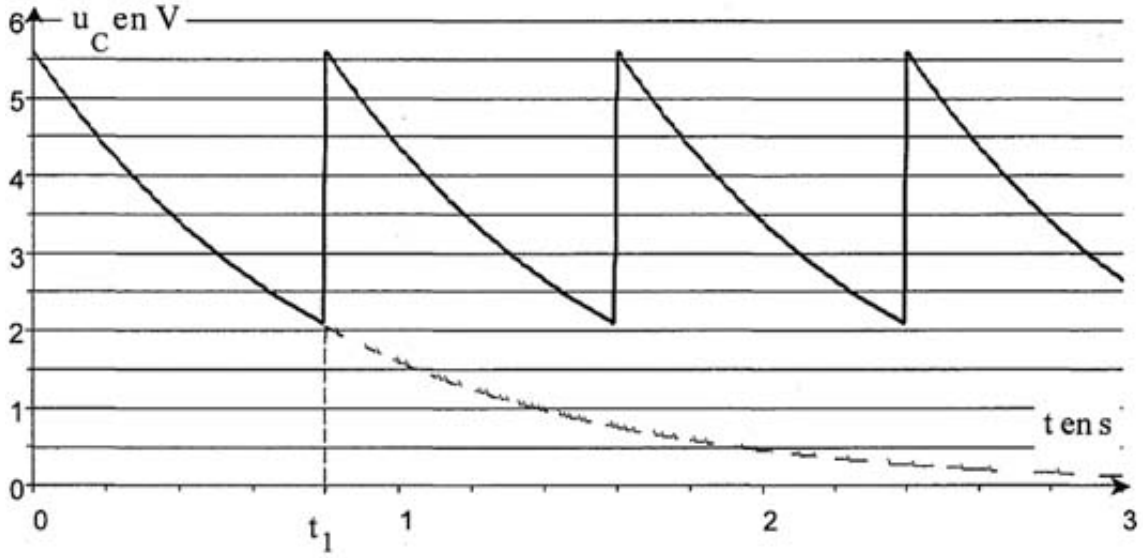
III. Oscillations électriques: le détecteur de fraude

La photo ci-contre montre un circuit électrique collé sous l'étiquette du boîtier d'un logiciel.
C'est un oscillateur électrique du type LC, dont la période propre vaut $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$.
Si le boîtier est tombé «par mégarde» dans un sac du client au lieu de passer par la caisse du magasin, ce circuit va se retrouver entre les portiques de sécurité à la sortie. Ces portiques contiennent des bobines émettant en permanence une onde radio de faible intensité mais de haute fréquence N = 10 MHz, exactement égale à la fréquence propre du petit oscillateur.
Dans ces conditions, le circuit capte l'énergie émise, se met à osciller, et émet à son tour une onde qui vient perturber l'onde des portiques. La détection de cette perturbation déclenche une alarme.

***Question**:* l'inductance de la bobine vaut L = 0,5 µH. En déduire la capacité C du condensateur.

ANNEXE 1

À remettre avec la copie



Courbe 1

Pour l'exercice 1.1.